

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 195 32 674 C 1

⑤1 Int. Cl.⁸:
G 01 B 7/30
G 01 B 7/004
G 01 R 33/06
// G01B 101:10

②1 Aktenzeichen: 195 32 674.1-42
②2 Anmeldetag: 5. 9. 95
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 7. 11. 96

DE 195 32 674 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Institut für Physikalische Hochtechnologie eV, 07743
Jena, DE

⑦4 Vertreter:

R. Pfeiffer und Kollegen, 07743 Jena

⑦2 Erfinder:

Mattheis, Roland, Dr., Dipl.-Phys., 07743 Jena, DE;
Andrä, Wulf, Dr., Dipl.-Phys., 07749 Jena, DE

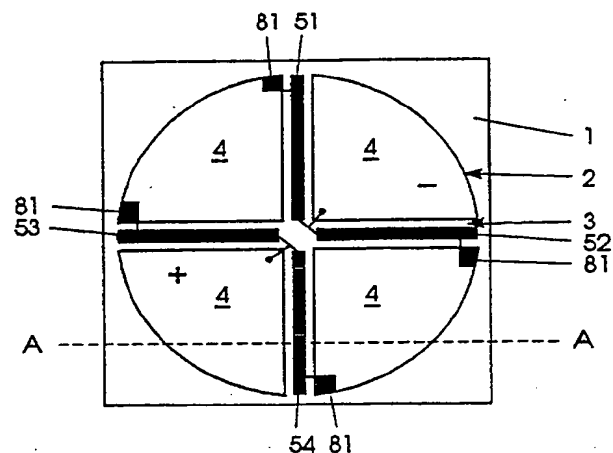
⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 43 17 512 A1
DE 43 01 704 A1
DD 2 56 628 A3

R. v. Helmholt et.al., Giant Negativ Magneto
resistance in Perovskite like $\text{La}_{2/3}\text{Ba}_{1/3}\text{MnO}_x$
Ferromagnetic Films, in: Phys. Ber. Lett., Vol. 71
No. 14 (1993) S. 2331-2333;
J. Daughton et.al., Magnetic Field Sensors Using
GMB Multilayer, in: IEEE Trans. on Magn.,
Vol. 30, No. 6 (1994), S. 4608-4610;

⑤4 Drehwinkelgeber unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Drehwinkel- und Drehgeber. Die Aufgabe der Erfindung, einen Drehwinkel- und Drehgeber unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien mit isotropen magnetoresistivem Effekt anzugeben, wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß wenigstens eine Halbbrücke je zwei miteinander elektrisch verschaltete GMR-Streifenleiter (51, 52; 53; 54) beinhaltet, die miteinander einen Winkel α , $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ einschließen, wobei die GMR-Streifenleiter (51, 52; 53, 54) innerhalb von Spalten (3) zwischen weichmagnetischen Polschuhsegmenten (4, 41) und zu diesen möglichst eng benachbart mit der Maßgabe angeordnet sind, daß den Spalten (3) ein Verhältnis von Spaltbreite (b) zu Schichtdicke (a), zumindest am Spalttrand, zwischen 1 und 10 gegeben ist, wobei die Schichtdicke (a) größer oder gleich der GMR-Streifenleiterschichtdicke (c) ist.



DE 195 32 674 C 1

Die Erfindung betrifft einen Drehwinkelgeber unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien, die bezüglich ihres magnetoresistiven Effektes isotrope Eigenschaften und einen sehr großen magnetoresistiven Effekt aufweisen, zur berührungslosen Messung und eindeutigen Bestimmung von Winkeln bis zu einem Drehwinkelbereich von 180°.

Zur betrag- und richtungsmäßigen Messung von Magnetfeldern werden nach dem Stand der Technik magnetoresistive Streifenleiter eingesetzt, die anisotrop bzgl. ihrer magnetoresistiven Eigenschaften und i.a. als Wheatstonebrücke verschaltet sind (vgl. z. B. DD 2 56 628, DE 43 17 512). Die dabei zum Einsatz gelangenden magnetoresistiven Streifenleiter weisen bzgl. eines äußeren Magnetfeldes anisotrope Widerstandsänderungen auf, was für den Verwendungszweck z. B. als Drehwinkelgeber eine wünschenswerte Eigenschaft ist. Solche Streifenleiter, z. B. auf der Basis von Permalloy, zeigen jedoch nur maximale Widerstandsänderungen von ca. 2 – 3%, weswegen ein relativ hoher elektronischer und herstellungsmäßiger Aufwand betrieben werden muß.

Desweiteren sind auch Materialien bzw. Bauformen mit einem sogenannten Giant Magnetowiderstand bekannt geworden (vgl. z. B. R. von Helmolt et al, Giant Negative Magnetoresistance in Perovskitelike $\text{La}_{2/3}\text{Ba}_{1/3}\text{MnO}_x$ Ferromagnetic Films, Phys. Rev. Lett., Vol. 71, No. 14, S. 2331 ff., 1993). Diese Klasse von Materialien bzw. Bauformen weisen magnetoresistive Widerstandseffekte auf, die die üblicherweise verwendeter magnetoresistiver Materialien um ein bis mehrere Größenordnungen übersteigen.

Von diesen Materialien sind zwei Grundtypen bekannt, deren erster dadurch charakterisiert ist, daß dünne ferromagnetische Schichten über metallische Zwischenschichten antiferromagnetisch aneinander gekoppelt sind. Diese antiferromagnetische Kopplung wird durch ein hinreichend starkes Magnetfeld überwunden und die Magnetisierungen parallel ausgerichtet. Diese Umorientierung der Magnetisierungen hat zur Folge, daß der elektrische Widerstand des Schichtpaketes abnimmt und somit ein Maß für die Stärke des äußeren Magnetfeldes ist. Der Nachteil dieser Materialien für den angestrebten Verwendungszweck besteht jedoch darin, daß der Widerstandseffekt, den sie aufweisen, isotrop ist und daß große Magnetfelder notwendig sind, so daß sie für die Detektion von Winkeln bislang nicht in Betracht kamen.

Beim zweiten Typ von Giant Magnetowiderstandsmaterialien sind die ferromagnetischen Schichten durch dia- oder paramagnetische metallische Zwischenschichten voneinander getrennt, wobei die Zwischenschichten so gewählt werden müssen, daß die magnetische Austauschkopplung zwischen den Magnetisierungen der ferromagnetischen Schichten möglichst gering ist. An einem derartigen System mit magnetisch "weicheren" Meßschichten und von den Meßschichten getrennten "härteren" Biasschichten folgen nur die Magnetisierungen der Meßschichten der Richtung eines äußeren Magnetfeldes, wenn die Stärke dieses Magnetfeldes entsprechend gewählt wird. Infolge dessen ist der elektrische Widerstand des beschriebenen Schichtsystems eine eindeutige Funktion des Winkels des wirkenden Magnetfeldes, wie in DE 43 01 704 A1 offenbart. Mit der dort beschriebenen Vorrichtung sind jedoch keine Brückenschaltungen problemlos ausbildbar.

Materialien des ersten genannten Typs zur Detektion von Magnetfeldkomponenten zum Einsatz zu bringen und damit einen Magnetfeldsensor zu schaffen, ist bereits von Daughton, J. et al (Magnetic Field Sensors Using GMR Multilayer, IEEE Trans. on Magn., Vol. 30, No. 6, S. 4608 ff., 1994) vorgeschlagen worden. Dort werden streifenförmige Vielfachschichten aus genannten Materialien in Form einer Wheatstonebrücke verschaltet, wobei jeweils zwei Streifenleiter einem durch Polschuhe erzeugten konzentrierten Magnetfeld ausgesetzt sind, während die anderen beiden Streifenleiter durch die Polschuhe vom einwirkenden äußeren Magnetfeld abgeschirmt werden. Eine derartige Anordnung ermöglicht jedoch nur die Bestimmung einer Magnetfeldkomponente in einer Richtung.

Vorliegender Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Drehwinkelgeber unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien mit isotropen magnetoresistivem Effekt anzugeben.

Die Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des ersten Patentanspruchs gelöst.

Die Erfindung soll nachstehend anhand schematischer Zeichnungen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1a eine Darstellung einer Ausführungsform mit einer Wheatstone-Vollbrücke,

Fig. 1b einen seitlichen Schnitt entlang einer Linie A-A durch einen Spalt nach Fig. 1,

Fig. 2 eine detailliertere Darstellung von möglichen Verhältnissen in einem Spalt gemäß Fig. 1b,

Fig. 3 eine Anordnung einer Vollbrücke beschränkt auf ein 90°-Kreissegment und

Fig. 4 a), b) weitere mögliche, von um 135° (a) bzw. um 120° sowie um 240° (b) verdreht ausgeführte Brückenanordnungen.

In Fig. 1a,b ist auf einem Substrat 1, welches durch ein thermisch oxydiertes Si-Substrat o. ä. gebildet ist, eine dicke kreisförmige Schicht 2, bestehend aus einem weichmagnetischen Material, wie z. B. NiFe 50 : 50, 17 : 83, 19 : 81 aufgebracht. Diese dicke Schicht 2 ist durch zwei senkrecht aufeinanderstehende Spalte 3 im Beispiel in vier Viertelkreissegmente 4 unterteilt; jeweils benachbarte Segmente schließen einen schmalen Spalt 3 ein. In jedem dieser Spalte 3 ist ein magnetoresistiver Streifenleiter 51, 52, 53, 54, bestehend aus einem isotropen GMR-Material, eingebettet. Je zwei senkrecht zueinander liegende Streifenleiter 51–52 bzw. 53–54 sind zu einer Halbbrücke einer Wheatstonebrücke verschaltet; die gesamte Anordnung der Streifenleiter 51, 52, 53, 54 bildet eine magnetoresistive Vollbrücke. Jeder Streifenleiter 51, 52, 53, 54 ist so ausgebildet, daß er einen möglichst geringen Abstand in der Größenordnung von 0,1 µm zum benachbarten weichmagnetischen Polsegment 4 aufweist, ohne im Spalt 3 zu diesen in elektrischem Kontakt zu stehen. Die Dicke a der weichmagnetischen Schicht 2 ist erfindungsgemäß so gewählt, daß das Verhältnis Spaltbreite b zu Schichtdicke a zwischen 1 und 10 liegt. Die Herstellung der weichmagnetischen Schicht und genannter Spalte kann vorteilhaft durch elektrolytische Verstärkung einer mittels physikalischer Dampfabcheidung aufgetragenen und strukturierten Schicht erfolgen. Darüber hinaus können durch geeignete Wahl von Kreuzungspunkten die Kreissegmente 4, wie in Fig. 1a dargestellt, selbst als Kontaktpunkte 81 für die Streifenleiter 51, 52, 53, 54 oder Leitbahnen dienen.

Fig. 1b zeigt einen seitlichen Schnitt entlang einer Linie A-A gemäß Fig. 1a, wobei hier noch ein Permanentmagnet 10 als Signalgeber angedeutet und dessen

Drehachse mit Z bezeichnet ist. Die in Fig. 1b sehr schematisch dargestellten Verhältnisse im Spalt 3 sind in Fig. 2 detaillierter dargestellt. Fig. 2 zeigt zur Verdeutlichung der Geometrieverhältnisse einen Querschnitt eines Spaltes 3 entlang der Schnittlinie A-A gemäß Fig. 1a. Hier ist zur Herstellung des Schichtsystems eine Strukturierung des Substrates 1 mit einer Si_3N_4 -Hilfsschicht 11 derart vorgenommen worden, daß ein Teil des thermischen Oxides abgeätzt wurde. Auf diese Struktur erfolgt eine ganzflächige Abscheidung einer GMR-Schicht. Steile Ätzkanten vorausgesetzt, wie sie leicht durch Trockenätzen erreichbar sind, ergibt dies eine elektrische Trennung der als Streifenleiter 51 bis 54 verwendeten GMR-Schicht von der auf dem Substratboden befindlichen GMR-Schicht 55, wie sie in Fig. 2 ersichtlich ist. Nach Aufbringung und Strukturierung einer Fotoresistschicht 6, die etwas breiter als der MR-Streifenleiter ausgeführt ist, kann die weichmagnetische Polschuhschicht 2 auf der als Kontaktunterlage dienenden GMR-Schicht 55 elektrolytisch abgeschieden werden.

Eine vorteilhafte Dimensionierung entsprechend der Erfindung kann dabei bspw. sein: $a = 1 \mu\text{m}$, $b = 2 \mu\text{m}$ und $c = 0.2 \mu\text{m}$.

Es ist vorteilhaft, zur Realisierung einer zumindest im inneren Bereich der weichmagnetischen dicken Polschuhschicht 2 kreuzungsfreien Anordnung der GMR-Streifenleiter 51 bis 54 in ihrer Verschaltung zu einer Wheatstonebrücke 7 eine geometrische Anordnung beschränkt auf einen Viertelkreis, wie in Fig. 3 gezeigt, zu wählen und eine Verschaltung, wie durch Leiterbahnen 8 schematisch angedeutet, vorzusehen. Im Falle der Verwendung nur einer Halbbrücke, wie sie auch bei einer Ausbildung nach Fig. 1a möglich ist, erlaubt die innere Verschaltung eine völlig kreuzungsfreie Ausführung. Ein derartiger Drehwinkelgeber verfügt ebenso, wie ein gemäß Fig. 1 ausgebildeter, über einen Eindeutigkeitsbereich des Nachweises von 90° .

Zur Erweiterung des Eindeutigkeitsbereiches des Winkelgebers von 90° auf 180° kann um einen definierten Winkel α : verdreht (z. B. 135° oder 120° und 240°) eine zweite Wheatstone- bzw. Halbbrücke 71 angeordnet werden, wie in Fig. 4a dargestellt. Diese Anordnung läßt sich, wie in Fig. 4b dargestellt, um eine weitere Wheatstone- bzw. Halbbrücke 72 erweitern, so daß ein Drehwinkelgeber mit einem Eindeutigkeitsbereich von 180° geschaffen ist.

Die Kreissegmente der Polschuhschicht 2 können bevorzugt als Zuleitungen für die Versorgungsspannungen der Wheatstonebrücken genutzt werden, wie in den Fig. 1a, 3 und 4 durch + und - angedeutet.

Eine Ausbildung der Polschuhe als Kreissegmente ist vorteilhaft, da sie einen kleinen Entmagnetisierungsfaktor bedingen.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, daß jeder einzelne der genannten Streifenleiter 51, 52, 53, 54 seinerseits jeweils aus mehreren einzelnen Teilstreifenleitern ausgebildet sein kann. Dies kann durch eine schichtpaketartige Anordnung erfolgen, oder durch eine Verlängerung des GMR-Streifenleiters durch Mäandrierung.

Die erfindungsgemäß gefertigten Drehwinkelgeber liefern Signalamplituden, die um ein bis mehrere Größenordnungen höher sind, als die mit bisherigen magnetoresistiven Materialien hergestellten Drehwinkelgeber erreichbaren Amplituden, wodurch der schaltungstechnische Aufwand deutlich reduziert wird und neue Einsatzgebiete erschlossen werden können.

Bezugszeichenliste

- 1 Substrat
- 11 Si_3N_4 -Hilfsschicht
- 2 Polschuhschicht
- 3 Spalte
- 4, 41 Kreissegmente
- 51, 52, 53, 54 GMR-Streifenleiter
- 55 als Kontaktunterlage dienende GMR-Schicht
- 6 Fotoresist
- 7, 71, 72 Wheatstonebrücken
- 8 Leiterbahnen
- 81 Kontaktpunkte
- 9 Unterlage
- 10 Permanentmagnet
- a Dicke der Polschuhschicht 2
- b Breite der Spalte 3
- c Dicke der GMR-Schicht
- A-A Schnittlinie
- α Winkel
- Z Drehachse

Patentansprüche

1. Drehwinkelgeber unter Verwendung von Giant Magnetowiderstandsmaterialien, die in Streifenform vorliegen und zu wenigstens einer Halbbrücke mit je zwei GMR-Streifenleitern (51, 52; 53, 54) verschaltet sind, wobei die GMR-Streifenleiter (51, 52; 53, 54) miteinander einen Winkel α , $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$, einschließen, und innerhalb von Spalten (3) zwischen weichmagnetischen Polschuhsegmenten in möglichst geringem Abstand angeordnet sind, ohne die weichmagnetischen Polschuhsegmente (4, 41) elektrisch zu kontaktieren, wobei das Verhältnis von Spaltbreite (b) zu Spalthöhe (a), zumindest am Spaltrand, zwischen 1 und 10 beträgt und die Spalthöhe (a) größer oder gleich der GMR-Streifenleiterschichtdicke (c) ist.
2. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die weichmagnetischen Polschuhsegmente als Kreissegmente (4, 41) ausgebildet sind.
3. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die eine Halbbrücke bildenden GMR-Streifenleiter (51, 52; 53, 54) zueinander in einem Winkel $\alpha = 90^\circ$ angeordnet sind und wenigstens das durch die GMR-Streifenleiter (51, 52; 53, 54) eingeschlossene Kreissegment (41) einen Zentriwinkel von 90° aufweist.
4. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß genannte GMR-Streifenleiter (51, 52; 53, 54) parallel zum Spalt (3) angeordnet sind.
5. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 1, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die GMR-Streifenleiter (51, 52; 53, 54) auf einer Unterlage (9) angebracht sind.
6. Drehwinkelgeber gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die weichmagnetischen Polschuhsegmente zugleich elektrische Anschlüsse für die GMR-Streifenleiter (51, 52; 53, 54) bilden.
7. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß
 - mehrere Halbbrücken eingesetzt sind,
 - die Halbbrücken um eine durch den Schnittpunkt der die Halbbrücken bildenden GMR-

Streifenleiter (51, 52, 53, 54) gehende gemeinsame Achse (Z) verdreht angeordnet sind.

8. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Halbbrücken eingesetzt sind, die zueinander um einen Winkel von 135° verdreht angeordnet sind. 5

9. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß drei Halbbrücken eingesetzt sind, die zueinander um einen Winkel von 120° verdreht angeordnet sind. 10

10. Drehwinkelgeber gemäß Anspruch 7, 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Halbbrücken zu einer Wheatstonevollbrücke verschaltet sind, wobei die Halbbrücken zueinander parallel angeordnet sind. 15

11. Drehwinkelgeber gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die GMR-Streifenleiter (51, 52, 53, 54) jeweils in schichtpaketartiger oder mäandrierter Anordnung vorliegen. 20

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

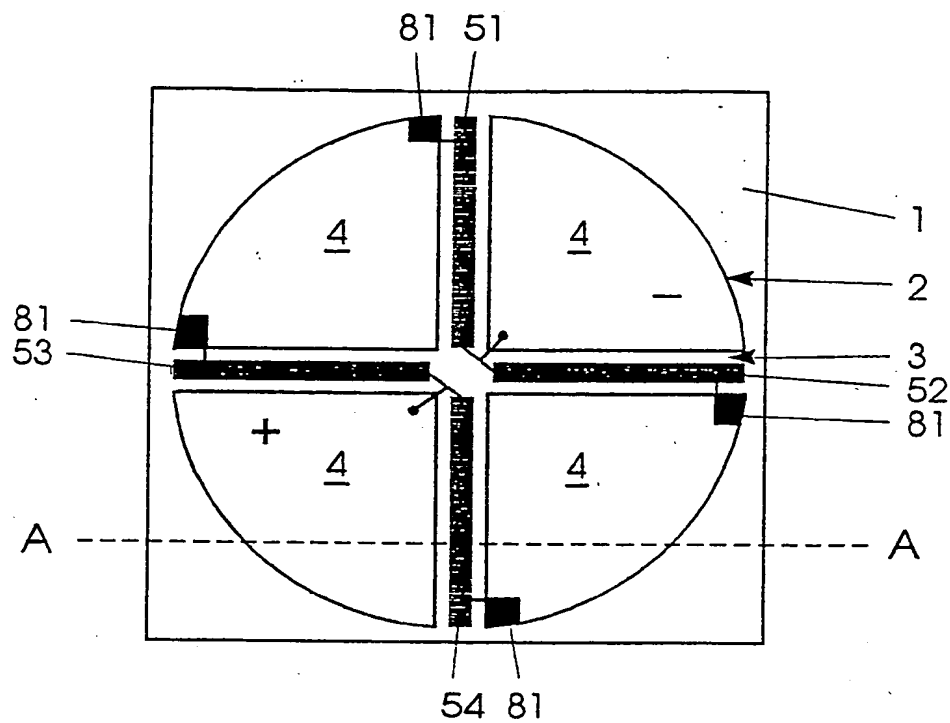


Fig. 1a

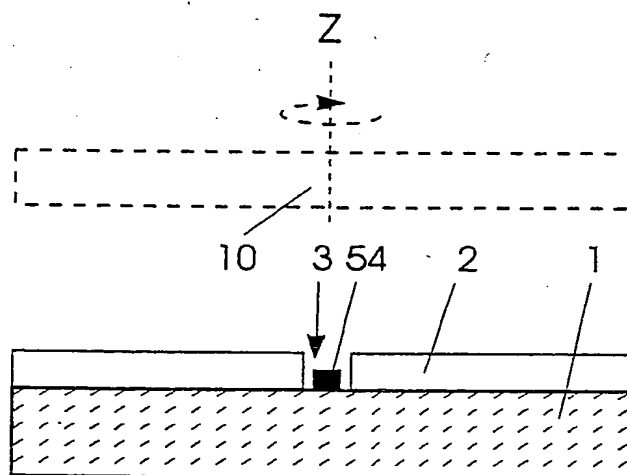


Fig. 1b

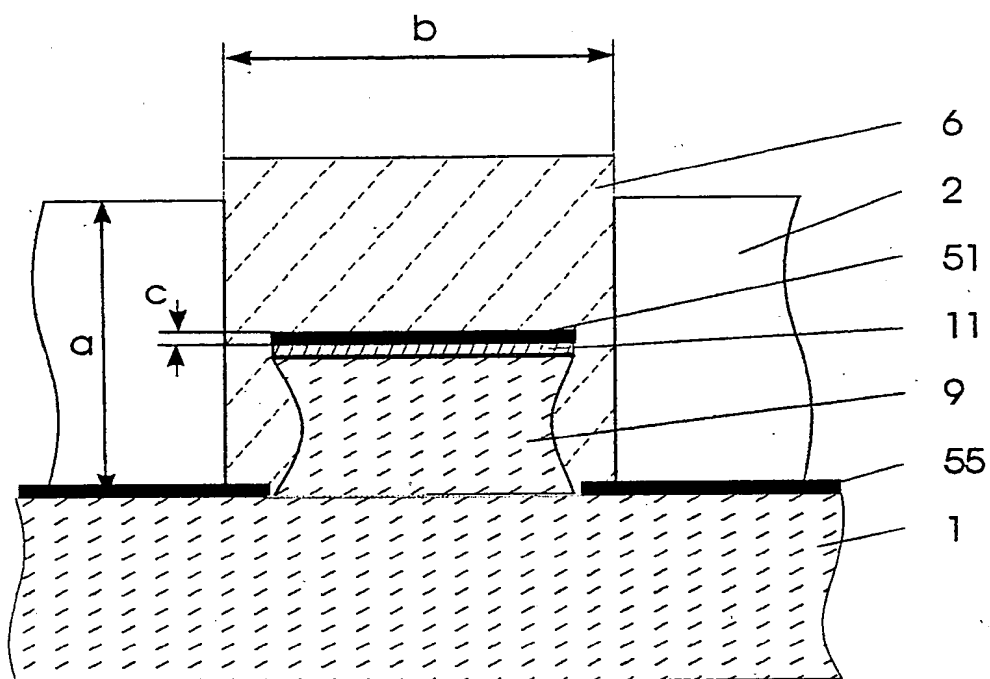


Fig. 2

Fig. 3

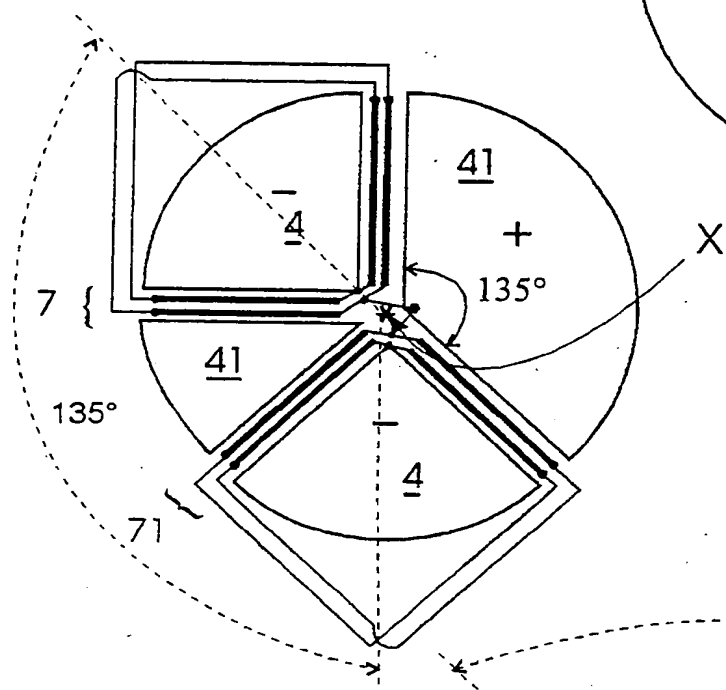
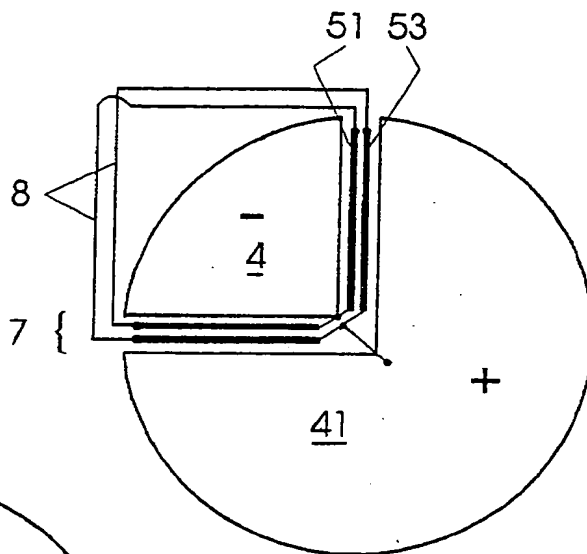


Fig. 4a

Fig. 4b

